

# Evaluación de algoritmos para la compresión de imágenes

PROCESAMIENTO DE IMAGENES

J. J. Aranda  
A. Hernández  
Q. Mora  
G. Montes de Oca  
G. Rodríguez  
A. Mesa

Instituto Central de Investigaciones Digitales (ICID), Ciudad de La Habana, Cuba

En el presente trabajo se analizan los resultados de algunas evaluaciones realizadas por los autores utilizando algoritmos de compresión de imágenes (CI) reportados en la literatura. Se hacen consideraciones sobre las tendencias futuras de solución al problema de la CI. Se muestran las soluciones tomadas ante diferentes alternativas según su factibilidad en cuanto a calidad de la imagen descompactada y costo computacional. También se exponen los criterios fundamentales a seguir con referencia a la CI en los próximos desarrollos de equipos y sistemas.

In this article are analyzed the results of the evaluations that were performed by the authors using algorithms of image compression that are described in the literature. Future trends of solution to the image compression problem are discussed. The solutions that were obtained with different alternatives in dependence of feasibility and quality of the decompressed image and computational cost are shown. The fundamental ideas that should be followed in the image compression problem for the development of new systems and equipments are presented.

Recibido: Octubre de 1993

## Introducción

El procesamiento digital de imágenes (PDI) es uno de los campos de la informática contemporánea en el que los volúmenes de datos a procesar son más elevados, pero con la existencia de una gran redundancia en ellos. En la referencia 1 se analizó el significado de la compresión, en el marco de un método clásico el algoritmo de Huffman<sup>1</sup>, para eliminar esta redundancia de forma totalmente reversible y con el enfoque de diversas aplicaciones además del PDI, como son el análisis de interpretación diagnóstica de electrocardiogramas (ECG), la transmisión de información entre computadoras usando redes y la comunicación oral con las computadoras.

Al continuar trabajando en el PDI médicos,<sup>2</sup> los autores se encontraron con diversas necesidades de conservación durante un período más o menos prolongado de

las imágenes y resultados obtenidos en el estudio de los pacientes, como son los casos, por ejemplo, de:

(a) Los estudios seriados de deformaciones óseas y de su evolución ante el tratamiento previsto.

(b) El análisis del movimiento del ventrículo izquierdo del corazón en diversos momentos de la evolución de una cardiopatía isquémica; que se hacían más agudas ante las clásicas limitaciones de capacidad de almacenamiento de los sistemas de cómputo utilizados: computadoras personales tipo NEC PC-9801F e IBM PC-XT y AT con discos duros de 20 Mbytes.

Por otra parte, existe una tendencia muy seriamente reflejada en la literatura a la sustitución de los archivos de placas radiográficas impresas y la conservación de todo el trabajo del Departamento de Imagenología Médica de los hospitales por sistemas de almacenamiento y transmisión

de Imágenes (PACS: Picture Archiving and Communications Systems). Este tipo de sistemas requiere de técnicas de compresión fuertes que permitan el almacenamiento de un gran número de imágenes, su rápida transmisión a los diferentes puntos de observación a través de las redes de computadoras y la recuperación sin pérdidas de las mismas en un tiempo muy breve.

Estas son las razones que motivaron a realizar investigaciones de otros algoritmos planteados en la literatura que se aplicaban en particular a la compresión de imágenes (CI), aprovechando el hecho, ya señalado, de la enorme redundancia existente en estas.

Este artículo resume el trabajo que dirigido por los autores, utilizando los algoritmos: (a) Huffman, (b) Longitud de carreras (Run Length Encoding), (c) LZW (Lempel-Ziv-Welch), (d) Transformada de Karhunen-Loeve y (e) Métodos de cuantificación de vectores debido a los diferentes enfoques de la compresión que plantea cada uno de ellos.

## Características de los métodos de compresión de imágenes evaluados

A continuación se describen las principales características de los métodos de CI que fueron evaluados, así como las ventajas y desventajas de cada uno, lo que permite brindar una idea conjunta de las principales técnicas de compresión que se encuentran actualmente en la literatura.

**Método de Huffman:** Consiste en obtener un alfabeto o libro de códigos con el cual se realiza la sustitución de un elemento de la imagen (*pixel*).<sup>1,3,4,5</sup> Este alfabeto tiene dos características fundamentales.

1. La longitud de los códigos es variable.
2. Todos los códigos tienen un prefijo diferente.

El método es totalmente reversible, ya que no existe diferencia o distorsión entre la imagen reconstruida y la original, aunque no alcanza razones de compresión muy elevadas. Es relativamente fácil de elaborar, y, una vez generado el libro de códigos para una clase de imágenes, puede aplicarse en tiempo real.

**Longitud de Carreras:** Consiste en sustituir todos aquellos *pixels* consecutivos que tienen el mismo valor por un contador, de forma que se codifica guardando el

valor del *pixel* y la longitud de la "carrera".<sup>3,6,7</sup>

El método es totalmente reversible y no necesita generar libro de códigos, aunque tiene la dificultad de que debe definirse una longitud de carrera adecuada para no incurrir en graves errores. Puede alcanzar razones de compresión elevadas, aunque en el trabajo de Mesa Alfonso<sup>8</sup> fue abandonado, pues los ficheros comprimidos que se obtenían no satisfacían los requerimientos de la aplicación en estudio, debido a que en los casos en que existan pocas "carreras" el algoritmo no es eficiente. Es fácil de elaborar y se ejecuta en tiempo breve, por lo que es ampliamente difundido.

Debe destacarse que el método es utilizado por algunos formatos comerciales tales como el PCX del PaintBrush, por lo que ha sido programado y probado para formar parte de los paquetes utilitarios que se entregan dentro de los equipos médicos OrtoPack y EcoGraf, permitiendo la compatibilidad de las imágenes generadas por dichos equipos con otros sistemas y programas capaces de procesar dichos formatos.

**Lempel-Ziv-Welch (LZW):** Este algoritmo está organizado en una tabla de cadenas que establece una función entre cadenas de caracteres de entrada y códigos de longitud variable. El proceso es totalmente reversible, ya que en la descompresión se genera la tabla de cadenas de forma similar a la compresión, lo que posibilita además no tener necesidad de almacenarla en el fichero.<sup>6</sup> El algoritmo es fácil de programar. Su velocidad de ejecución es sensible al tiempo de acceso a la tabla de direcciones de las cadenas (*hashing*).

Este método es utilizado en el formato Tagged Image File Format (TIFF) que ha sido programado por los autores para formar parte también de los utilitarios que se ofrecen con los equipos médicos OrtoPack y EcoGraf.

**Transformada de Karhunen-Loeve:** Consiste en obtener los vectores propios que corresponden a los valores propios de mayor peso en la matriz de covarianza de la imagen, despreciando aquellos vectores que están dentro de la cota de error cuadrático medio permitido.<sup>9,10,11</sup>

El método es irreversible. Se plantea que la distorsión de la imagen siempre será menor que el error cuadrático medio, por lo que puede alcanzarse una elevada razón de compresión, considerándosele el mejor en este sentido. Una vez generado el libro de códigos para una clase de imágenes, el proceso de compresión-descompresión puede hacerse en tiempo real; pero el

proceso de generación tiene en su contra el elevado consumo de tiempo en el cálculo -generalmente iterativo- de los valores y vectores propios de la matriz de covarianza.

Junto con el estudio de esta transformada, se revisó un grupo de transformadas que se derivan de la transformada rápida de Fourier<sup>4</sup> como son la del seno y la del coseno (DCT); así como otro grupo de transformadas ortogonales que incluyen la de Harr, la de Slant y la de Hadamard. Todas estas transformadas son irreversibles y tienen un elevado nivel de complejidad en la obtención del libro de códigos, por lo que no fueron probadas.

**Cuantificación de vectores:** Consiste en sustituir un vector de  $m$  pixels por un código o etiqueta que lo representa.<sup>13,14,15</sup>

Se pueden utilizar diversos criterios para medir la distorsión, entre los cuales se eligió minimizar el error cuadrático medio.

Este método es también irreversible. Alcanza una elevadísima razón de compresión. El proceso de generación del libro de códigos para una clase de imágenes es de un elevado costo computacional, aunque una vez obtenido este, el proceso de compresión-descompresión es muy rápido.

## Resultados obtenidos

Se trabajó con varios formatos de imágenes provenientes de distintos digitizadores:

(a) EDEC-1181, con 240 líneas de 256 pixels cada una, donde un pixel puede tomar un valor entre 0 y 255 del tono de gris (ocupa un byte). El fichero tipo generado ocupa 61 440 bytes.

(b) Data Translation DT 2803, con 240 líneas de 256 pixels cada una, donde un pixel puede tomar un valor entre 0 y 63 del tono de gris (ocupa 6 bit de un byte). El fichero tipo generado ocupa 524 288 bytes (ocho cuadros de 65 536 bytes cada uno).

(c) EyeGrabber, con el modo de trabajo de 240 líneas de 512 pixels cada una, donde un pixel ocupa dos bytes debido a las posibilidades de color de la tarjeta (32 768 colores posibles), pero en modo monocromático puede tomar un valor entre 0 y 31 del tono de gris (ocupa 5 bit), con la representación de los tres colores repetidos al mismo valor. El fichero tipo generado ocupa 262 144 bytes.

(d) PC Eyes, que digitiza una imagen sobre la memoria de la VGA -en un tiempo de 6 s, por lo que no es tiempo real como

## EVALUACION DE...

las anteriores-, en modo de 200 líneas de 320 pixels cada una, con 256 colores a un byte por color, ya que realiza una sustitución por hardware (HW) utilizando 6 bit para cada color primario que se almacena en una paleta con 256 entradas. El fichero tipo generado ocupa 64 778 bytes.

Se utilizaron también diversas computadoras con velocidades diferentes como:

1. NEC PC-9801F con procesador 8086 a 8 MHz, 384 kbytes de memoria, disco duro de 20 Mbytes y los programas realizados en Turbo-Pascal 3 y Ensamblador.

2. IBM PC-XT con procesador 8088 a 8 MHz, 640 kbytes de memoria, disco duro de 20 Mbytes y los programas realizados en Turbo-Pascal 5 y Ensamblador.

3. IBM PC-AT con procesador 80286 a 16 MHz, 1 Mbytes de memoria, disco duro de 20 Mbytes y los programas realizados en Turbo-Pascal 5 y Ensamblador.

Como índice para medir la compresión obtenida se utilizó la razón de compresión alcanzada, la que se define como el cociente obtenido entre el tamaño del fichero comprimido y el tamaño del fichero original, expresados en porcentajes.

De manera informal, se consideraron el tiempo de generación del libro de códigos, y el tiempo de compresión-descompresión, medidos en segundos.

Se realizó además una comparación contra los programas compactadores comerciales PKARC, PKZIP y LHARC.

Los resultados obtenidos, descritos de manera general, se pueden observar en la tabla 1.

**Tabla 1**

Método	Razón de compresión (Promedio)
Huffman	60
Longitud de carreras	50
LZW	55
Transformada de Karhunen-Loeve	
Cuantificación de vectores	5
PKARC, PKZIP y LHARC	65

Como se observa, con la técnica de cuantificación de vectores fue que se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a razón de compresión. Los tiempos de generación del libro de códigos en el caso de Huffman fueron del orden de los 2 min en la NEC y con imágenes de 61 440 bytes.

En el caso de la transformada de Karhunen-Loeve, utilizando el mismo sistema de cómputo NEC, y con las mismas imágenes de 61 440 bytes, el libro de códigos demoró más de 4 h en su generación.

Para el algoritmo de cuantificación de vectores, en la IBM PC AT fueron de 12 a 15 min para dos clases de imagen: de 65 536 bytes extraída de una secuencia de ocho cuadros -fichero tipo de 524 288 bytes- y otra de 64 778.

En cuanto a tiempos de ejecución, debe señalarse que es difícil establecer una medida objetiva de resultados obtenidos a partir de condiciones tan diferentes.

## Consideraciones sobre el trabajo futuro en compresión de imágenes

El problema de la compresión de imágenes ha sido objeto de un incesante desarrollo que tiende a introducir los mejores algoritmos en dispositivos comerciales (*chips*). Algunas compañías de gran prestigio en el mercado como Intel, LSI y C-Cube han tomado la iniciativa, realizando, entre otras, las recomendaciones III y IV del CCITT (Comité Consultatif International de Telegraphic et Telephonic) que son reversibles, y el método Still Picture Compression, propuesto por el JPEG (Joint Photo Expert Group), que es irreversible. Se plantea la utilización de varios métodos combinados por etapas entre los que se encuentran: transformada discreta del coseno (DCT), cuantificación de vectores, reorganización de la imagen, código aritmético y Huffman. También se habla de comprimir utilizando fractales.

La influencia que estos desarrollos por HW tienen sobre el trabajo futuro en compresión de imágenes son decisivas, ya que deben obtenerse velocidades de ejecución de los algoritmos cercanas al tiempo real (33 ms para la norma NTSC de televisión), con el objetivo de poder almacenar en discos ópticos una sucesión de cuadros obtenidos en tiempo real, para lo que se buscan razones de compresión cercanas al 0,5 % (200 a 1) y superiores.

El estudio realizado por los autores ha llevado a la conclusión de que la solución más adecuada al problema de la compresión es la utilización de tarjetas especializadas construidas sobre la base de este tipo de dispositivos, de las cuales existe una creciente oferta en el mercado a precios relativamente bajos. En muchos casos, estas tarjetas traen además el paquete de programas que realiza la compresión-descompresión por el mismo algoritmo que trae el HW, dándose el caso de que algunos de estos programas son muy rápidos y permiten que en aplicaciones donde no se necesita tiempo real, pueda utilizarse esta segunda variante. Así, si se trabaja en un sistema de almacenamiento y transmisión de imágenes, puede valorarse colocar la tarjeta de compresión-descompresión especializada solo en aquellos puntos en que se capturan imágenes y mantener en los que se recibe solo el programa de descompresión lo que disminuye el costo total del sistema.

A manera de ejemplos comerciales que están siendo evaluados por los autores, y que cumplen con las características que se han señalado se tiene:

o Tarjeta Super Still Frame Compression, fabricada por la New Media Graphics Corporation y ofertada a un precio aproximado de \$ 1 220,00 USD.

o Tarjeta OptiBase/100, fabricada por la OPTIBASE Inc., y ofertada a un precio aproximado de \$ 580,00 USD.

o Paquete de programas Alice, desarrollado por la Telephoto Communications, Inc. y ofertado a un precio de \$ 280,00 USD.

## Conclusiones

De todos los algoritmos evaluados y probados para la compresión de imágenes, el colectivo de autores obtuvo varias experiencias importantes que, aunque descritas a lo largo de este trabajo se desea recalcar:

La técnica de cuantificación de vectores fue la que mejores resultados brindó en cuanto a razón de compresión, siendo aprovechada en la conservación de secuencias de 8 ó 16 imágenes ecocardiográficas. Esto permitió preservar estudios realizados a los pacientes para su posterior comparación.

El método de Huffman consumió mucho menos tiempo de ejecución en la generación del libro de códigos que la cuantificación

de vectores, y aunque las imágenes podían ser recuperadas totalmente, la razón de compresión alcanzada no es muy elevada.

Los métodos de longitud de carreras, utilizados en formatos comerciales como el PCX del PaintBrush, y LZW, utilizado en el formato TIFF, fueron programados para convertir las imágenes obtenidas con la tarjeta digitizadora EyeGrabber a dichos formatos, garantizando la compatibilidad de los equipos y sistemas que se han desarrollado, tales como OrtoPack y EcoGraf con programas y sistemas comerciales y obteniendo buena razón de compresión.

Las consideraciones en torno al desarrollo futuro de la CI, que se observan como las más factibles llevan a que en la proyección de las nuevas estaciones de trabajo que se desarrollen y que necesitan capturar, almacenar y (o) transmitir formando un sistema de almacenamiento y transmisión de imágenes -PACS-, se proponga la incorporación de tarjetas especializadas diseñadas para este fin sobre la base de dispositivos comerciales. En aquellos casos, en que el costo del sistema sea elevado, puede valorarse como alternativa en las estaciones, que no realicen captura de imágenes, la inclusión de un paquete de programas que realice el algoritmo de descompresión que está incorporado en las tarjetas de compresión de las estaciones de captura del sistema.

## Referencias

1. ARANDA ABOY, J.J.: "Implementación del algoritmo de Huffman para la compresión de ficheros", *Revista CID Electrónica y Proceso de Datos*, No. 19, pp. 4-6, 1989.
2. HERNANDEZ BLANCO, A.; et al.: "Sistemas para el procesamiento de imágenes médicas", *Revista CID Electrónica y Proceso de Datos*, No. 20, p. 20, 1990.
3. PANTOJA VARONA, G.: "Métodos de compactación para el procesamiento de imágenes", Trabajo de Diploma, Facultad de Matemática Cibernética, Universidad de La Habana, 1988.
4. AMSTERDAM, J.: "Data Compression with Huffman Coding", *Byte*, Vol. 11, No. 5, pp. 99-108, May, 1986.
5. ABRAMSON, N.: *Teoría de la información y codificación*, Ed. Paraninfo, Madrid, 1969.
6. MESA ALFONSO, A.A.: "Implementación de un Banco de Almacenamiento de Imágenes", Trabajo de Diploma, Facultad de Matemática Cibernética, Universidad de La Habana, Curso 1991-1992.
7. POUNTAIN, D.: "Run-Length Encoding", *Byte*, Vol. 12, No. 6, pp. 317-320, June, 1987.
8. WELCH, T. A.: "A Technique for High-Performance Data Compression", *Computer* 0018-9162/84/0600-0008 IEEE, pp. 8-19, 1984.
9. VALDES MANZANO, O.: "Implementación de la transformada de Karhunen-Loeve para la compresión de imágenes", Trabajo de Diploma, Facultad de Matemática Cibernética, Universidad de La Habana, 1987.
10. ROSENFELD, A. y A. C. KAK: *Digital Picture Processing*, Vol. 1, Academic Press, Inc., 1982.
11. FUKUNAGA, K.: "Introduction to Statistical Pattern Recognition", *Academic Press*, New York and London, 1972.
12. RODRIGUEZ BENITEZ, G.: "Uso de la transformada de Fourier en el procesamiento de imágenes", Trabajo de Diploma, Facultad de Matemática Cibernética, Universidad de La Habana, 1988.
13. SOTOLONGO CUERVO, Y.: "Compresión de imágenes por métodos de cuantificación de vectores", Trabajo de Diploma, Facultad de Matemática Cibernética, Universidad de La Habana, 1992.
14. BUREL, G. & I. POTTIER: "Vector Quantization of Images using Kohonen Algorithm. Theory and Implementation", *Revue Technique Thomson-CSF*, Vol. 23, No. 1, pp. 137-160, March, 1991.
15. LINDE, Y.; A. BUZO & R.M. GRAY: "An Algorithm for Vector Quantizer Design", *IEEE Trans. Comm.*, Vol. COM-28, No. 1, June, 1980.

---

JUAN JOSE ARANDA ABOY. Licenciado en Ciencias de la Computación, Profesor Auxiliar Adjunto, ISPJAE  
 AURELIO HERNANDEZ BLANCO. Ingeniero en Electrónica, Investigador Agregado  
 OMAR MORA ABAD. Licenciado en Cibernética Matemática, Investigador Agregado  
 GISELA MCNTES DE OCA COLINA. Licenciada en Cibernética Matemática, Investigadora Agregada  
 GEMMA MARIA RODRIGUEZ BENITEZ. Licenciada en Cibernética Matemática, Aspirante a Investigadora  
 ALIS MESA CASTAÑON. Licenciada en Cibernética Matemática